

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 504.3

DOI: 10.15372/GIPR20230211

Е.С. АНДРЕЕВА\*, И.Н. ЛИПОВИЦКАЯ\*\*, С.С. АНДРЕЕВ\*\*\*,  
И.В. БОГДАНОВА\*, С.А. ШЕНГЕЛАЯ\*\*\*\*

\*Донской государственной технической университет,  
344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, Россия, espmeteo@yandex.ru, bogirka@gmail.com  
\*\*Ивангородский гуманитарно-технический институт (филиал)  
Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения,  
188490, Ивангород, ул. Котовского, 1, Россия, lipovitskaya@mail.ru  
\*\*\*Ростовский институт защиты предпринимателя,  
344029, Ростов-на-Дону, ул. Сержантов, 2/104, Россия, rggmurd@yandex.ru  
\*\*\*\*Ростовский государственный университет путей сообщения,  
344038, Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, Россия,  
zmeyus78@mail.ru

### ФОРМИРОВАНИЕ ПЫЛЬНЫХ БУРЬ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

*Дана оценка геоэкологических последствий пыльных бурь как природных явлений, интенсивность и особенности развития которых зависят в том числе и от антропогенного преобразования территорий. По многолетним данным, на территории Российской Федерации случаи опасных пыльных бурь ежегодно наблюдаются. При этом наиболее интенсивные и продолжительные из них в середине XX – начале XXI в. были отмечены на юге Европейской России, в Ростовской области. Учитывая важность исследований канцерогенной опасности взвешенных веществ, в том числе частиц диаметром от 2,5 до 10 мкм, в приземном слое воздуха, оценивалось дополнительное число случаев канцерогенеза, обусловленного интенсификацией режима пыльных бурь на юге европейской части России. Результаты расчетов значений индивидуального и популяционного канцерогенного риска здоровью населения за 2015–2020 гг. позволяют утверждать, что пыльные бури 2020 г. обусловили высокий уровень загрязнения воздуха взвешенными веществами. Это привело к увеличению числа случаев возможного развития онкогенных образований у жителей Ростова-на-Дону на 21–36 % по сравнению со средними значениями исследуемого периода. Полученная оценка геоэкологической ситуации, обусловленной существенным ростом канцерогенного риска из-за резкого повышения максимальных концентраций взвешенных веществ и значений атмосферной толщины пыли в период интенсивных пыльных бурь 2020 г., доказывает необходимость дальнейших наблюдений и исследований.*

**Ключевые слова:** взвешенные вещества, экологические риски, канцерогенные риски здоровью, антропогенные факторы, геоэкологические последствия.

E.S. ANDREEVA\*, I.N. LIPOVITSKAYA\*\*, S.S. ANDREEV\*\*\*,  
I.V. BOGDANOVA\*, S.A. SHENGELAYA\*\*\*\*

\*Don State Technical University,  
344000, Rostov-on-Don, pl. Gagarina, 1, Russia, espmeteo@yandex.ru, bogirka@gmail.com  
\*\*Ivangorod Institute of Humanities and Technology (Branch),  
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,  
188490, Ivangorod, ul. Kotovskogo, 1, Russia, lipovitskaya@mail.ru  
\*\*\*Rostov Institute for Entrepreneur Protection,  
344029, Rostov-on-Don, ul. Serzhantov, 2/04, Russia, rggmurd@yandex.ru

\*\*\*\*Rostov State Transport University, 344038, Rostov-on-Don, pl. Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya, 2, Russia, zmeyus78@mail.ru

## FORMATION OF DUST STORMS IN ROSTOV OBLAST AND THEIR GEOECOLOGICAL CONSEQUENCES

*An assessment is made of the geoecological consequences of dust storms as natural phenomena, the intensity and development of which depend, among other things, on the anthropogenic transformation of territories. According to the Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet), cases of dangerous dust storms occur every year on the territory of the Russian Federation according to long-term data. At the same time, the most intense and longest dust storms in the mid-20<sup>th</sup>–early 21<sup>st</sup> centuries were observed in the south of the European part of Russia, in Rostov oblast. In view of the importance of studying the carcinogenic hazard of suspended solids, including particles of 2.5 to 10  $\mu\text{m}$ , in the surface air layer, among the geoecological consequences of dust storms, we authors assessed an additional number of cases of carcinogenesis due to the intensification of the regime of dust storms in the plains of the South of the European part of Russia. Results from calculating the values of individual and population carcinogenic risks to public health for the period 2015–2020 suggest that the dust storms in the year 2020 caused a high level of air pollution by suspended solids, causing a serious geoecological hazard and increasing an additional number of cases of possible development of oncogenic diseases formations among urban residents of Rostov-on-Don by 21–36 % compared with the average values of the study period. The assessment obtained for the geoecological situation, caused by a significant increase in carcinogenic risk due to a sharp increase in the maximum concentrations of suspended solids and atmospheric dust thickness values during the period of intense dust storms in 2020, proves the need for further observations and studies.*

**Keywords:** *suspended matter, environmental risks, carcinogenic health risks, anthropogenic factors, geoecological consequences.*

### ВВЕДЕНИЕ

Взвешенные вещества разной крупности постоянно присутствуют в приземном слое воздуха, что связано как с различными направлениями антропогенной деятельности, так и с процессом развеивания пылевого материала пустынных территорий при скорости приземного ветра не менее 12 м/с и предшествующего продолжительного бездождного периода. Интенсивные пыльные бури как опасные агрометеорологические явления могут иметь крайне неблагоприятные геоэкологические последствия, ежегодно перемещая в приземном слое воздуха около 2 млрд т пыли, которая содержит пылевые частицы пустынь, а также антропогенную пыль урбанизированных территорий [1–3].

Попадая в нижний слой воздуха, взвешенные вещества как полидисперсные частицы различной крупности (диаметр от 10 до 2,5 мкм и менее) интенсивно рассеивают солнечную радиацию, удерживая длинноволновое излучение земной поверхности и деформируя глобальную климатическую систему. Они также снижают оптическую прозрачность нижнего слоя воздуха, провоцируя появление смогов, кислотных осадков, обуславливая ухудшение качества окружающей среды, повышая риски развития патологий вплоть до канцерогенеза [4–6].

В настоящее время, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) (<https://www.who.int>), около 99 % населения мира проживают на территориях с превышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха. В соответствии с классификацией Международного агентства по изучению рака (МАИР), взвешенные вещества, включая частицы диаметром 10 и 2,5 мкм (PM10 и PM2,5 соответственно), с 2016 г. отнесены к подтвержденным канцерогенам [7–9]. Особое беспокойство вызывает и тот факт, что описываемые частицы обуславливают риск преждевременной смерти, заболевания сердечно-сосудистой системы, дыхательных путей. Необходимо отметить, что в России взвешенные вещества, содержащиеся в воздухе, также отнесены к канцерогенам, подчеркнута их весьма опасное резорбтивное действие [8].

Стоит отметить, что перемещение и развеивание значительных масс пыли, песка в атмосферном воздухе наносит и существенный социально-экономический ущерб в мировом масштабе, что находит отражение в ряде нормативных документов отдельных стран или международных организаций [1, 10]. Так, ежегодный Бюллетень Всемирной метеорологической организации (ВМО) в 2020 г. был посвящен атмосферной пыли [1]; с 2007 г. действует международная система предупреждений о песчаных и пыльных бурях (SDS-WAS) [11], состоящая из трех региональных центров (Северного, Азиатского и Американского). Система SDS-WAS предоставляет качественные научно обоснованные прогнозы, данные наблюдений приборов наземного комплекса AERONET (лидары, солнечные фотометры, облакомеры),

результаты спутниковых измерений (EUMETSAT, MODIS). Наземные и спутниковые лидары, а также последнее поколение облакомеров — основные инструменты, способные предоставить информацию о вертикальных профилях концентраций атмосферных аэрозолей, включая взвешенные вещества [12]. Кроме того, в сентябре 2019 г. была создана Международная коалиция по борьбе с песчаными и пыльными бурями, в число партнеров которой входят ВМО, ВОЗ, ООН и другие организации.

Российская Федерация, обладая весьма протяженной и разнообразной в погодно-климатическом отношении территорией, ежегодно несет социально-экологические и экономические потери от пыльных бурь. К настоящему времени отдельной системы их мониторинга в России не создано, хотя с 2018 г. в девяти городах на 14 метеорологических станциях начали проводиться наблюдения за взвешенными частицами PM<sub>10</sub>, в шести городах на девяти метеостанциях — за частицами PM<sub>2,5</sub>. Основная часть этих станций расположена в городах азиатской части страны — Гусиноозерске, Ангарске, Улан-Удэ, Селенгинске, Байкальске, Иркутске. В европейской части имеется несколько станций мониторинга взвешенных частиц PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> — в Казани, Москве и Санкт-Петербурге.

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

На юге Европейской России, в том числе в Ростовской области, наблюдения за концентрациями взвешенных частиц PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> не проводятся. Однако случаи катастрофических пыльных бурь, в особенности события 1969–1971 гг., приведшие к весьма ощутимым социально-экономическим последствиям (нарушение работы транспорта, ущерб сельскому хозяйству), были зафиксированы именно в пределах равнин юга европейской части страны [2, 3, 13]. В связи с этим в качестве объекта исследований была выбрана Ростовская область, на большей части которой за многолетний период не менее одного раза в 10–15 лет отмечались случаи опасных пыльных бурь, один раз в пять лет происходили неблагоприятные пыльные бури<sup>1</sup>.

По данным Росгидромета [14], наиболее сложным и разноплановым в погодно-климатическом отношении периодом с характерным увеличением к его концу повторяемости случаев интенсивных пыльных бурь в пределах Ростовской области стал интервал с 2015 по 2020 г. Далее рассмотрим уровень загрязнения воздуха в Ростовской области за указанный период и сравним его с межгодовой динамикой средних и максимальных концентраций взвешенных веществ, учитывая средние и максимальные значения оптической толщины атмосферной пыли с 2015 по 2020 г.

Оценку геоэкологических последствий пыльных бурь 2020 г. для всей области произведем на основе расчетов индивидуального и канцерогенного риска здоровью населения на примере ее административного центра — Ростова-на-Дону.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование осуществлялось на базе системного подхода с применением методов первичной статистической обработки информации. Первичные данные были получены благодаря государственной сети мониторинга состояния атмосферного воздуха, функционирование которой обеспечивает Росгидромет. В частности, авторами использовались сведения [15–17] о гелиогеофизических, синоптических и климатических условиях на территории исследования в указанный период, включая внутrigодовые (повторяемость пыльных бурь, динамика средних и максимальных значений концентраций взвешенных веществ). Для выявления вклада пыльных бурь в снижение оптических характеристик атмосферы в пределах пограничного слоя использовались ежедневные обобщенные мультимодельные расчетные значения атмосферной оптической толщины пыли в рамках пограничного слоя атмосферы Северного регионального центра наблюдений за пыльными бурями ВМО (Барселона) (SDS-WAS WMO) [11], а также бюллетени ВМО [1]. Наконец, оценка канцерогенных рисков здоровью осуществлялась на основе отчетов и нормативных документов ВОЗ и МАИР [7] с учетом методики, изложенной в [9].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки геоэкологических последствий пыльных бурь рассмотрим специфические особенности и межгодовые тенденции концентраций взвешенных веществ в нижнем слое воздуха [15, 16] в пределах России с 2015 по 2020 г. Далее, изучив тенденции динамики оптической толщины атмо-

<sup>1</sup> Определения неблагоприятных метеорологических явлений даны по РД 52.27.724-2019 [14].

сферной пыли [11] и учитывая информацию о повторяемости интенсивных пыльных бурь [15] в Ростовской области, оценим геоэкологическую опасность исследуемых явлений. Для этого рассчитаем величину канцерогенного риска здоровью [7, 9] вследствие доказанного канцерогенного характера воздействия взвешенных веществ на здоровье населения.

Так, в России, по данным Росгидромета на 2020 г. [15], в 233 городах на 607 метеорологических станциях и постах определяются концентрации взвешенных веществ. При этом сеть мониторинга загрязнения атмосферы в Ростовской области состоит из 14 станций регулярных наблюдений в шести городах области. В Новочеркасске, Новошахтинске, Миллерово, Гуково, Сальске, Батайске проводятся маршрутные наблюдения в нескольких точках, в Таганроге дополнительно осуществляются эпизодические наблюдения. Наконец, указанная выше сеть мониторинга на территории Ростова-на-Дону включает семь стационарных станций — городские фоновые (ст. 2, 55, 21); промышленные (ст. 44, 52) и автотранспортные (ст. 29, 51) [15, 16] (рис. 1).

По данным обзоров состояния и загрязнения окружающей среды Российской Федерации за 2015–2020 гг. и ежегодников состояния загрязнения атмосферы в городах России [15, 16], средняя концентрация взвешенных веществ изменялась незначительно — от 109 мкг/м<sup>3</sup> в 2015 г. до 112 мкг/м<sup>3</sup> в 2020 г., не превышая значений среднесуточной ПДК (150 мкг/м<sup>3</sup>).

Средняя из максимальных концентраций взвешенных веществ за период исследования в 1,5–2 раза превышала значения максимальной разовой ПДК (500 мкг/м<sup>3</sup>), несколько снизившись с 977 мкг/м<sup>3</sup> в 2015 г. до 850 мкг/м<sup>3</sup> в 2020 г. [16]. Это свидетельствует о многочисленных случаях залповых промышленных выбросов или о ряде чрезвычайных ситуаций природного характера (пожары, пыльные бури), в результате которых значительное количество взвешенных веществ попадает в нижний слой атмосферы. По нашему мнению, указанные ситуации в связи с характером своего возникновения и развития могут так же, как и антропогенные залповые промышленные выбросы, оказывать кратковременное единичное воздействие, повышая запыленность приземного воздуха в пределах городских зон [18].

В городах Ростовской области в 2015–2019 гг. средний уровень запыленности воздуха не превышал 2–3,5 ПДК. В 2015 г. в Новочеркасске и Шахтах ПДК составляла 2,1 и 2,8 соответственно; в 2017–2018 гг. в Новочеркасске — 2–3 ПДК; в 2019 г. в Новочеркасске — 3,5, Батайске — 2,1, Шахтах, Гуково, Сальске — 2 ПДК [16].

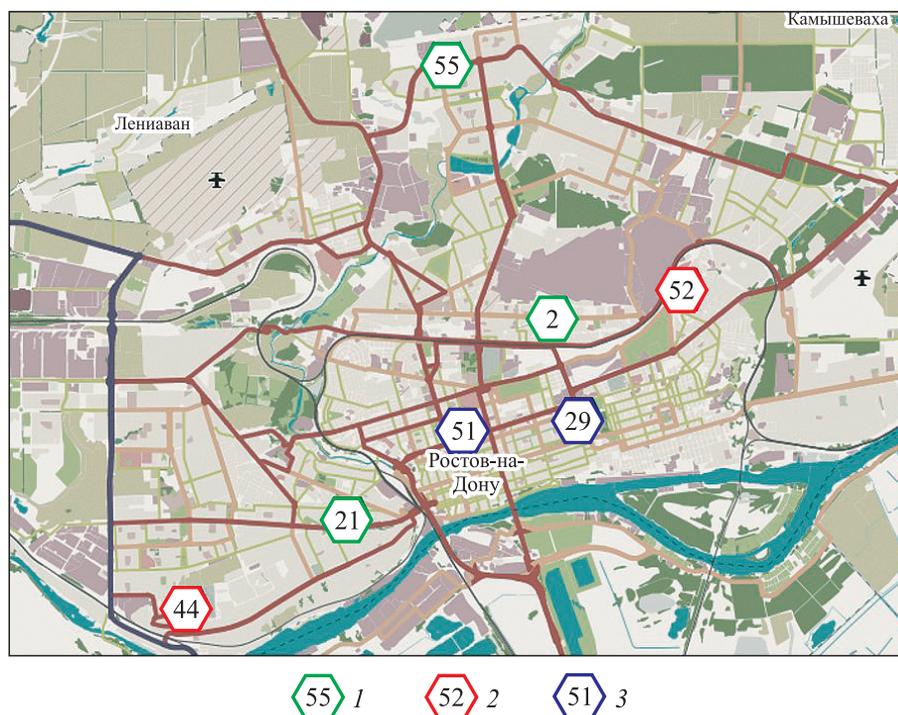


Рис. 1. Схема расположения стационарных станций сети мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на территории Ростова-на-Дону, по [15, 16].

Станции: 1 — городские фоновые (ст. 2, 21, 55), 2 — промышленные (ст. 44, 52), 3 — автотранспортные (ст. 29, 51).

В 2020 г. средний уровень запыленности воздуха заметно вырос, достигнув в Новочеркасске 5,3 ПДК, Сальске — 3,3, Шахтах — 2,6, в Гуково, Новошахтинске и Таганроге — 2 ПДК. Стоит добавить, что впервые за весь исследуемый период в 2020 г. Азов (13,2 ПДК), Новочеркасск (13,2 ПДК) и Ростов-на-Дону (15 ПДК) попали в перечень городов России с установленными случаями превышения максимальных концентраций взвешенных веществ (значения максимальной разовой ПДК превышены более чем в 10 раз).

В Ростове-на-Дону, единственном городе области с миллионным населением (1 137 900 чел. на 2020 г.), в 2015–2019 гг. было отмечено наиболее частое превышение средних и максимальных разовых концентраций в центральных районах города. На ст. 51 — не более 2,7 ПДК для средних разовых концентраций и 3,8 ПДК для максимальных; на ст. 29 — не более 1,7 ПДК для средних и 2,8 ПДК максимальных (см. рис. 1). В 2019 г. максимальная разовая концентрация взвешенных веществ в Ростове-на-Дону достигла 7 ПДК (ст. 2), а в 2020 г. была зафиксирована наиболее высокая максимально разовая концентрация взвешенных веществ (ст. 29), составив 15 ПДК (см. рис. 1).

Необходимо отметить, что, по данным Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова [16], европейская часть России характеризуется более благоприятными условиями рассеивания примесей из-за высокой повторяемости циклонов, отдельных атмосферных фронтов. Однако урбанизированные зоны и крупные города, развитие агропромышленного комплекса (АПК), с одной стороны, а также аридный климат и наличие существенных площадей пустынных территорий — с другой, приводят к росту числа случаев высокой запыленности нижнего слоя воздуха комплексного, природно-антропогенного характера. В этом смысле выделить долю природно-обусловленных пылевых частиц достаточно сложно, поскольку, переносимые ветровыми потоками при пыльных бурях, они могут иметь также и антропогенное происхождение.

Нам представляется, что присутствующие в нижнем слое воздуха и осевшие на поверхности взвешенные частицы разной крупности в момент пыльных бурь из-за усиления приземного ветра активно перемещаются в слое воздуха, вызывая повышение оптической толщины пыли во всем вертикальном объеме пограничного слоя атмосферы, как указывается в [12].

В связи с этим рассмотрим особенности динамики концентрации пыли в нижнем слое атмосферы по обобщенным данным наземного комплекса AERONET (лидары, солнечные фотометры, облакомеры), а также по результатам спутниковых измерений (EUMETSAT, MODIS) содержания пылевых частиц, распределенных в пограничном слое атмосферы. Указанная информация предоставлена Региональным центром ВМО по пыли (Барселона) и партнерами в рамках системы SDS-WAS для Северной Африки, Ближнего Востока и Европы [11, 12].

На построенном авторами по данным [11, 12] рис. 2 очевиден весьма разнородный характер изменения значений оптической толщины атмосферной пыли в пределах пограничного слоя атмосферы за 2015–2020 гг. с ярко выраженным, максимальным за весь исследуемый период увеличением значений оптической толщины пыли (при  $\lambda = 550$  нм) в 2020 г. (до 0,5).

Данные [11, 12] фактически подтверждают информацию Росгидромета [15, 16], иллюстрируя совпадение двух периодов увеличения оптической толщины пыли с периодами повышенной интенсивности пыльных бурь — весной (март–апрель) и осенью (сентябрь–октябрь). Согласно информации Росгидромета [15, 16], в Ростовской области годы с 2015 по 2020 были теплыми. Повышенная повторяемость метеорологических условий аккумуляции примесей зафиксирована только в 2018 и 2019 гг. (повторяемость приземных и приподнятых инверсий температуры воздуха составила не менее 30–50 %, повторяемость застоев воздуха — более 15 %). Режим интенсивных пыльных бурь, по данным [15], наблюдался именно в 2020 г.

Таким образом, очевидно, что, развеивая и переводя во взвешенное состояние осевшую ранее пыль природного или антропогенного происхождения, пыльные бури играют ведущую роль в формировании высокого уровня загрязнения приземного слоя воздуха на юге Европейской России.

Рассмотрим особенности и основные метеорологические характеристики, сопровождающие развитие пыльных бурь, для понимания возможных геоэкологических эффектов. Как показал ряд проведенных ранее исследований [2, 3, 19, 20], пыльные бури как комплексное агрометеорологическое явление возникают вследствие сочетания гелиогеофизических факторов, разномасштабных синоптических процессов, развивающихся на фоне физико-географических условий с учетом климатических особенностей территории. Катастрофические случаи пыльных бурь в Ростовской области были отмечены в 1837, 1885, 1892, 1928, 1939, 1947–1949, 1952, 1957, 1960, 1969, 1984, 1999, 2020 гг. [2]. Особенно сильными и продолжительными бури были в 1969 г., когда вследствие векового максимума солнечной активности атмосферные процессы часто протекали очень интенсивно, характеризуясь резкими

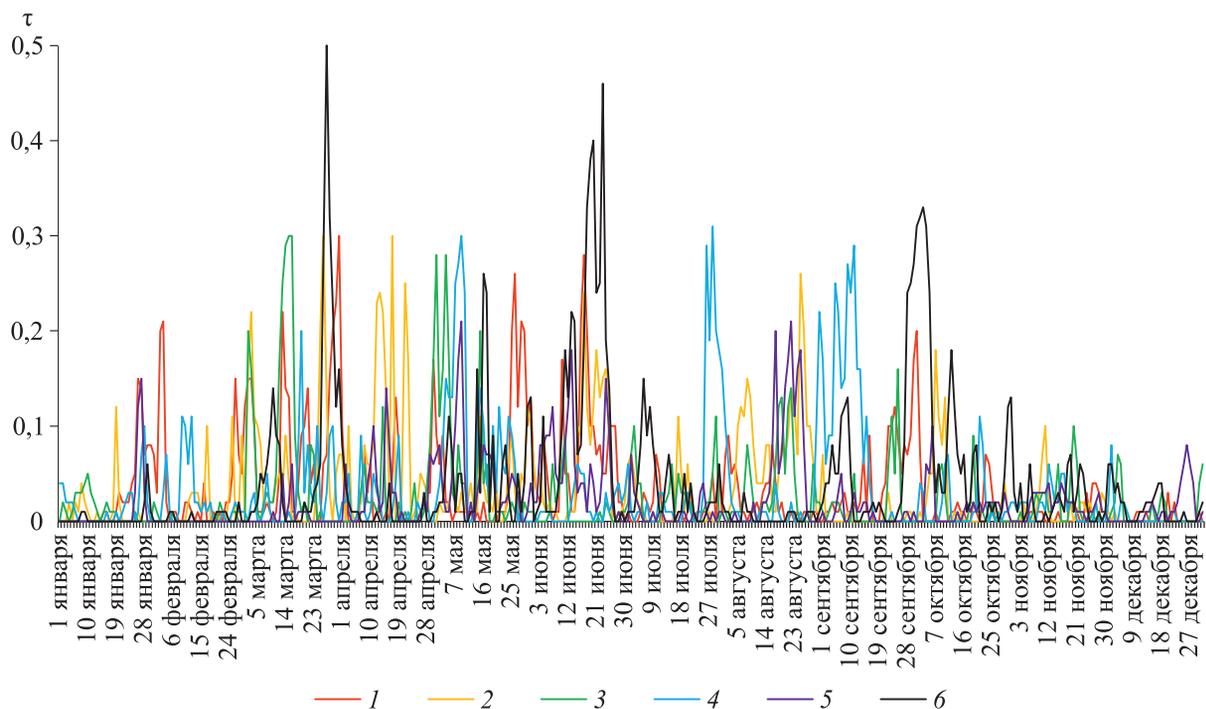


Рис. 2. Внутригодовая динамика оптической толщины атмосферной пыли ( $\tau$ ) в пределах Ростова-на-Дону в 2015–2020 гг. [11].

Годы: 1 — 2015, 2 — 2016, 3 — 2017, 4 — 2018, 5 — 2019, 6 — 2020.

барическими, термическими, влажностными контрастами. Следует отметить, что при интенсивных пыльных бурях в январе–феврале 1969 г. видимость ухудшалась до 50 м, местами снижаясь до 10 м, а скорость ветра составляла 30–40 м/с.

Интересно, что изученные случаи пыльных бурь (17–28 марта 1960 г., 4–11 апреля 1960 г., 28–31 августа 1965 г., 1–7 апреля 1966 г., 25–26 апреля 1969 г., 18 февраля 1978 г., 3–11 марта 1984 г., 23–28 марта и 30 сентября – 2 октября 2020 г.) [17] на территории Ростовской области происходили на фоне нарушения зональной циркуляции, преобладания северной (отрицательной) меридиональной циркуляции, нередко с прорывами южных циклонов. Выявленная ранее в [13] интенсификация отрицательной меридиональной циркуляции, ослабляющая положительную зональную (нормальную для умеренных широт), обуславливала вынос холодного воздуха из северных регионов, что усугубляло термические и барические контрасты и усиливало скорость приземного потока воздуха. Описанные выше условия в сочетании с длительным бездождевым периодом и иными факторами в совокупности вызывали развеивание поверхностного слоя почвы и в итоге — пыльные бури.

Существенные термические и барические контрасты из-за чередования циклонов и антициклонов в пределах Европы и европейской части России, а также фактическое попадание территории Ростовской области в зону барической седловины в марте–апреле и сентябре–октябре 2020 г. вызвало увеличение скорости приземного ветра до 20–30 м/с. На окраине Ростова-на-Дону фиксировалась скорость ветра до 24 м/с. Стоит отметить, что развеивание масс пыли и песка усиливалось не только из-за увеличения скоростей приземного ветра. Летний период 2020 г. характеризовался чрезвычайно засушливой погодой при достаточно высокой температуре воздуха, что привело к атмосферной, а затем и почвенной засухе.

Однако, как представляется авторам, интенсификация в 2020 г. проявлений пыльных бурь в пределах Ростовской области, а также их катастрофический в социальном отношении характер обусловлен прежде всего неудовлетворительным состоянием и сокращением площади, занятой растительными формациями: лесных массивов, лесных защитных полос, зеленых городских насаждений, включая парковые и лесопарковые уголья. Так, по данным на 2021 г., в Ростовской области при небольшой общей площади естественных лесов — 237,4 тыс. га (для сравнения, площадь лесов в Краснодарском крае — 1683,1 тыс. га) — существенно сократилась площадь лесов зон санитарной, водо-

охранной защиты — на 15,8 %. Площадь ценных лесов уменьшилась на 7,3 %, в том числе государственных лесозащитных полос — на 4,4 %. Также в области на 54,5 % сократилась площадь лесопарковых зон. В Ростове-на-Дону наблюдается не менее сложная ситуация с обеспеченностью населения зелеными насаждениями. Так, по данным Министерства природных ресурсов Ростовской области на 2021 г. [10], в городе насчитывается 13 парков и 36 скверов, площадь городских лесов составляет 3,84 тыс. га при нормативном значении 5 тыс. га. Перечисленные выше обстоятельства обеспечивали комбинированные, или синергические, эффекты, усугубляя геоэкологические последствия пыльных бурь 2020 г. [20, 21].

Для выявления и оценки рассматриваемых в работе геоэкологических последствий пыльных бурь 2020 г. произведем расчет канцерогенных рисков здоровью населения Ростова-на-Дону, обусловленных повышенным содержанием в воздухе взвешенных веществ, с учетом классификации канцерогенов МАИР [7].

Оценка осуществлялась на основе методических документов [8, 9], в которых изложены принципы расчетов индекса сравнительной канцерогенной опасности, а также индивидуального и популяционного рисков здоровью населения. Применение индекса сравнительной канцерогенной опасности (*HRIC*, баллы) позволило выявить сходный уровень опасности [22–24] от присутствия в приземном слое воздуха взвешенных веществ для Ростова-на-Дону и Новочеркасска:

$$HRIC = E \cdot Wc \cdot P / 10\,000, \quad (1)$$

где *E* — величина условной экспозиции, т/год; *Wc* — весовой коэффициент канцерогенного эффекта; *P* — численность популяции.

Расчеты по формуле (1) показали, что для Ростова-на-Дону и Новочеркасска *HRIC* по содержанию взвешенных веществ оказались сопоставимыми — 0,9 и 1,5 балла соответственно. Однако из-за значительно большей численности населения Ростова-на-Дону дальнейшие расчеты параметров канцерогенного риска осуществлялись только для данного населенного пункта.

Величина индивидуального канцерогенного риска (*CR*), как еще одного параметра оценки канцерогенного риска, позволяет оценить дополнительную вероятность развития рака у индивидуума на протяжении всей жизни (70 лет) с учетом среднесуточной дозы поступающего канцерогенного вещества, в данном случае — взвешенных веществ:

$$CR = LADD \cdot SFi, \quad (2)$$

где *LADD* — среднесуточная доза поступления вещества в течение жизни, мг/(кг·день); *SFi* — фактор наклона, или фактор канцерогенного потенциала, мг/(кг·день).

Расчет *LADD* производился по формуле:

$$LADD = \frac{[C \cdot CR \cdot ED \cdot EF]}{[BW \cdot AT \cdot 365]}, \quad (3)$$

где *C<sub>i</sub>* — концентрация вещества, мг/м<sup>3</sup>; *CR* — скорость поступления воздействующей среды (среднесуточный объем вдыхаемого воздуха), м<sup>3</sup>/день; *ED* — продолжительность воздействия, годы; *EF* — частота воздействия, дней/год; *BW* — масса тела человека, кг; *AT* — период усредненной экспозиции.

Учитывая, на основе формул (2) и (3), что фактор наклона для взвешенных веществ *SFi* = 0,1785 мг/(кг·день), индивидуальный риск развития дополнительных канцерогенных эффектов при среднем содержании взвешенных веществ в Ростове-на-Дону за 2015–2019 гг. составил 0,0011248, или  $1,1 \cdot 10^{-3}$ , что превышает приемлемый риск в 10 раз (нормативное значение —  $10^{-4}$ ).

Как показали расчеты, значения индивидуального канцерогенного риска здоровью синхронно увеличиваются почти на порядок при повышении концентрации в воздухе взвешенных веществ и оптической толщины пыли (табл. 1 и 2, рис. 3, 4). В 2020 г. рост средних и максимальных разовых концентраций обусловил существенное увеличение индивидуального риска до  $2,3 \cdot 10^{-1}$ , превысив приемлемый риск в 1000 раз (см. рис. 3, 4).

Расчет величины популяционного канцерогенного риска (*PCR*), отражающего дополнительное к фоновому число случаев злокачественных новообразований, способных возникнуть в течение жизни вследствие присутствия в воздухе взвешенных веществ, производился по формуле:

$$PCR = CR \cdot POP, \quad (4)$$

где *CR* — индивидуальный канцерогенный риск; *POP* — численность популяции, чел.

Таблица 1

Средние концентрации взвешенных веществ, средние значения оптической толщины атмосферной пыли и рассчитанные значения индивидуального канцерогенного риска здоровью населения Ростова-на-Дону за 2015–2020 гг., по [11, 12, 15, 16]

Год	Средняя концентрация взвешенных веществ, мг/м <sup>3</sup>	Средняя оптическая толщина атмосферной пыли	Индивидуальный канцерогенный риск здоровью населения
2015	0,23	0,034	0,011248
2016	0,18	0,033	0,008803
2017	0,24	0,025	0,011737
2018	0,25	0,032	0,012226
2019	0,23	0,022	0,011248
2020	0,23	0,042	0,011248

Таблица 2

Максимальные концентрации взвешенных веществ, максимальные значения оптической толщины атмосферной пыли и рассчитанные значения индивидуального канцерогенного риска здоровью населения Ростова-на-Дону за 2015–2020 гг., по [11, 12, 15, 16]

Год	Максимальная концентрация взвешенных веществ, мг/м <sup>3</sup>	Максимальная оптическая толщина атмосферной пыли	Индивидуальный канцерогенный риск здоровью населения
2015	4,7	0,3	0,229849
2016	1,5	0,3	0,073356
2017	1,5	0,3	0,073356
2018	2,0	0,31	0,097808
2019	3,5	0,21	0,171164
2020	7,5	0,5	0,366781

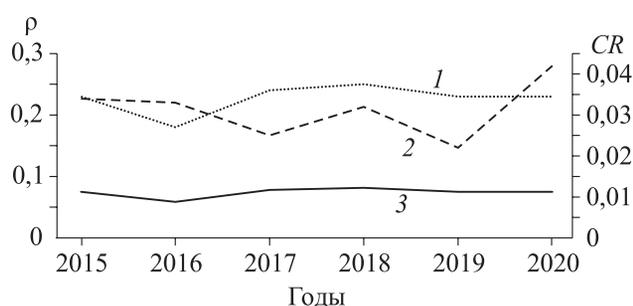


Рис. 3. Межгодовое изменение средних концентраций взвешенных веществ, мг/м<sup>3</sup> (1), средних значений оптической толщины атмосферной пыли  $\rho$  (2) и индивидуального канцерогенного риска (CR) здоровью населения Ростова-на-Дону (3) за 2015–2020 гг.

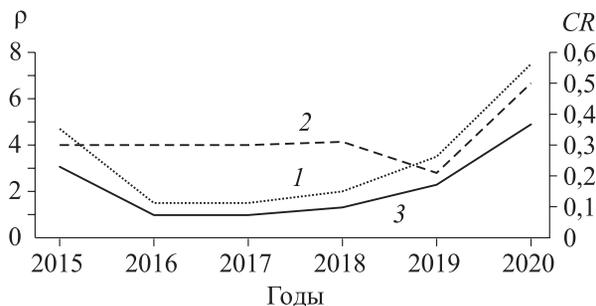


Рис. 4. Межгодовое изменение максимальных концентраций взвешенных веществ, мг/м<sup>3</sup> (1), максимальных значений оптической толщины атмосферной пыли  $\rho$  (2) и индивидуального канцерогенного риска (CR) здоровью населения Ростова-на-Дону (3) за 2015–2020 гг.

Расчеты по формуле (4) показали, что в Ростове-на-Дону при среднем содержании взвешенных веществ в воздухе дополнительное число случаев возможного развития канцерогенеза может наблюдаться у 12 800 чел. из 1 138 тыс. чел., или у 1,1 % жителей города. Однако при превышении концентраций средних и максимальных разовых концентраций в 2020 г. указанные эффекты возросли более чем на порядок: вероятное число случаев развития онкогенных новообразований у жителей — 251 685–417 397, т. е. развитие канцерогенеза может наблюдаться у 22,1–36,7 % всего населения города.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали результаты проведенного исследования, в периоды интенсивных пыльных бурь возрастают концентрации взвешенных веществ и, как следствие, оптическая толщина атмосферной пыли, что способствует повышению величины индивидуального канцерогенного риска. Это влечет за собой рост дополнительных случаев онкогенных заболеваний органов дыхательной системы, а также крайне неблагоприятные геоэкологические последствия для жителей урбанизированных зон и крупных городов.

Расчет канцерогенного риска здоровью от взвешенных веществ, содержащихся в воздухе, позволил выявить серьезный негативный вклад пыльных бурь 2020 г. в увеличение числа случаев возможного развития онкогенных образований у жителей Ростова-на-Дону на 21–36 %. Очевидно, что предотвратить пыльные бури в настоящее время не удастся. Однако в качестве некоторых мер минимизации опасных геоэкологических последствий данных явлений для населения можно отметить

создание внешнего и внутреннего каркасов из зеленых насаждений, санацию имеющихся в городе лесов и парковых зон, а также лесозащитных полос в пределах Ростовской области [25, 26]. Также было бы полезным вернуться к практике составления медицинских прогнозов погоды с рекомендациями о тех или иных режимах труда и отдыха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бюллетень** Всемирной метеорологической организации о пыльных бурях, 2021 [Электронный ресурс]. — [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?expl-num\\_id=10732](https://library.wmo.int/doc_num.php?expl-num_id=10732) (дата обращения 04.07.2021).
2. **Мартынова М.И., Андреева Е.С.** Проблемы и особенности защитного лесоразведения Ростовской области // Эколого-географич. вестн. Юга России. — 2001. — № 3–4. — С. 22–28.
3. **Глушко А.Я., Разумов В.В., Рейхани М.Д.** Деградация земель Юга европейской части России под воздействием пыльных бурь // Юг России: экология, развитие. — 2010. — № 1. — С. 146–151.
4. **Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Абдурасулова Н.А., Абуллаева М.С.** О температурных эффектах пыльной мглы // Докл. АН Республики Таджикистан. — 2020. — Т. 53, № 6. — С. 455–460.
5. **Назаров Б.И., Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф.** Оптические и микрофизические параметры аридного пылевого аэрозоля // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2010. — Т. 46, № 4. — С. 505–511.
6. **Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А.** Изменение оптических параметров сильно запыленного воздуха в условиях аридной зоны // Докл. АН Республики Таджикистан. — 2007. — Т. 50, № 7. — С. 598–606.
7. **Agents classified by the IARC Monographs** // IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. Vol. 1–130 [Электронный ресурс]. — <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications> (дата обращения 20.04.2021).
8. **Постановление** Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 об утверждении Санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) вредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. — [https://biotorg.com/upload/medialibrary/039/SanPiN-1.2.3685\\_21.pdf](https://biotorg.com/upload/medialibrary/039/SanPiN-1.2.3685_21.pdf) (дата обращения 28.01.2021).
9. **Р 2.1.10.192-04.** Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс]. — <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения 19.04.2021).
10. **Итоги** работы Министерства природных ресурсов и экологии Ростовской области за 2021 год // Официальный портал Правительства Ростовской области [Электронный ресурс]. — <https://www.donland.ru/result-report/1293/> (дата обращения 21.09.2021).
11. **WMO SDS-WAS Regional Center for Northern Africa, Middle East and Europe, Conducting Research and Providing Operational Products** [Электронный ресурс]. — <https://dust.aemet.es> (дата обращения 21.08.2021).
12. **Basart S., Nickovic S., Terradellas E., Cuevas E., Garcia-Pando C.P., Garcia-Castrillo G., Werner E., Benincasa F.** The WMO SDS-WAS Regional Center for Northern Africa, Middle East and Europe // E3S Web of Conferences. — 2019. — Vol. 99 [Электронный ресурс]. — [https://www.e3sconferences.org/artic-les/e3sconf/pdf/2019/25/e3sconf\\_caduc2019\\_04008.pdf](https://www.e3sconferences.org/artic-les/e3sconf/pdf/2019/25/e3sconf_caduc2019_04008.pdf) (дата обращения 21.08.2021).
13. **Андреева Е.С.** География и генезис опасных явлений погоды южных районов России (на примере сильных ветров) // Изв. РГО. — 2009. — Т. 141, вып. 2. — С. 51–56.
14. **РД 52.27.724–2019.** Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. — М.: Гидрометцентр России, 2019. — 67 с.
15. **Обзоры** состояния и загрязнения окружающей среды Российской Федерации за 2015–2020 гг. // Росгидромет [Электронный ресурс]. — <http://www.me-teorf.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения 21.03.2021).
16. **Ежегодники** состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2015–2020 гг. // Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова [Электронный ресурс]. — [http://voeikovmgo.ru/?option=com\\_content&view=article&id=40:perechen-materialov-izdannyykh-ggo&catid=41&Itemid=24&lang=ru](http://voeikovmgo.ru/?option=com_content&view=article&id=40:perechen-materialov-izdannyykh-ggo&catid=41&Itemid=24&lang=ru) (дата обращения 21.03.2021).
17. **Архив** синоптических карт Росгидромета [Электронный ресурс]. — <https://meteoinfo.ru/mapsynop> (дата обращения 20.03.2021).
18. **Андреева Е.С., Лазарева Е.О., Липовицкая И.Н.** Применение метода «дерева принятия решений» для прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга // Вестн. Моск. ун-та. Сер. География. — 2019. — № 2 — С. 55–60.
19. **Мартынова М.И.** Экологическая эффективность лесных массивов на юго-западе Ростовской области // Лесное хозяйство. — 2006. — № 6. — С. 32–34.
20. **Орловский Н.С., Орловская Л.Н., Индугит Р.** Опасные и особо опасные пыльные бури в Средней Азии // Аридные экосистемы. — 2013. — Т. 19, № 4 (57). — С. 49–58.
21. **Разиньков Н.Д.** Эффект синергизма как спутник атмосферных загрязнений в городе // Гелиогеофиз. исследования. — 2015 [Электронный ресурс]. — <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=324> (дата обращения 19.03.2021).
22. **Andreeva E.S., Klimov P.V., Shtenske K.S.** Atmospheric air pollution as one of the factors of noncarcinogenic risk to the health of the human population of Rostov-on-Don // Geography and Natural Resources. — 2021. — Vol. 42, N 1. — P. 32–36.

23. **Bespalov V., Kotlyarova E.** Assessment of the level of impact and degree of environmental safety of industrial facilities in the urban environment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2018 [Электронный ресурс]. — file:///C:/Users/user/Downloads/Assessment\_of\_the\_level\_of\_impact\_and\_degree\_of\_en.pdf (дата обращения 19.03.2021).
24. **Bulygin Y.I., Koronchik D.A., Legkonogikh A.N., Zharkova M.G., Azimova N.N.** Physical and Theoretical Models of Heat Pollution Applied to Cramped Conditions Welding Taking into Account the Different Types of Heat // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2017 [Электронный ресурс]. — file:///C:/Users/user/Downloads/Physical\_and\_Theoretical\_Models\_of\_Heat\_Pollution\_.pdf (дата обращения 19.03.2021).
25. **Basilaia M., Bogdanova I., Dymnikova O.** Cosmoharmonic principles of environmental safety // E3S Web of Conferences. — 2019 [Электронный ресурс]. — [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/61/e3sconf\\_itese18\\_01079.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/61/e3sconf_itese18_01079.pdf) (дата обращения 19.07.2021).
26. **Zharkova M., Paramonova O., Yudina N.** Bioclimatic design as a large city urban structure reorganization factor // E3S Web of Conferences. — 2021 [Электронный ресурс]. — [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/49/-e3sconf\\_interagromash2021\\_06013.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/49/-e3sconf_interagromash2021_06013.pdf) (дата обращения 19.08.2021).

*Поступила в редакцию 21.10.2021*

*После доработки 22.06.2022*

*Принята к публикации 28.12.2022*